

学校编码: 10384

密级 _____

学 号: 22320121151342

厦 门 大 学

硕 士 学 位 论 文

九龙江口浮游生物生态学研究与水质生物 学评价

Ecological study on plankton and water quality

bioassessment of the Jiulong River Estuary

吴白洁

指导教师名称: 郭东晖 副教授

专业名称: 海洋生物学

论文提交日期: 2015 年 05 月

论文答辩时间: 2015 年 05 月

2015 年 月

厦门大学学位论文原创性声明

本人呈交的学位论文是本人在导师指导下,独立完成的研究成果。本人在论文写作中参考其他个人或集体已经发表的研究成果,均在文中以适当方式明确标明,并符合法律规范和《厦门大学研究生学术活动规范(试行)》。

另外,该学位论文为()课题(组)的研究成果,获得()课题(组)经费或实验室的资助,在()实验室完成。(请在以上括号内填写课题或课题组负责人或实验室名称,未有此项声明内容的,可以不作特别声明。)

声明人(签名):

年 月

厦门大学学位论文著作权使用声明

本人同意厦门大学根据《中华人民共和国学位条例暂行实施办法》等规定保留和使用此学位论文，并向主管部门或其指定机构送交学位论文(包括纸质版和电子版)，允许学位论文进入厦门大学图书馆及其数据库被查阅、借阅。本人同意厦门大学将学位论文加入全国博士、硕士学位论文共建单位数据库进行检索，将学位论文的标题和摘要汇编出版，采用影印、缩印或者其它方式合理复制学位论文。

本学位论文属于：

()1. 经厦门大学保密委员会审查核定的保密学位论文，于
年 月 日解密，解密后适用上述授权。

()2. 不保密，适用上述授权。

(请在以上相应括号内打“√”或填上相应内容。保密学位论文应是已经厦门大学保密委员会审定过的学位论文，未经厦门大学保密委员会审定的学位论文均为公开学位论文。此声明栏不填写的，默认为公开学位论文，均适用上述授权。)

声明人(签名)：

年 月 日

目 录

中文摘要.....	I
英文摘要.....	III
第一章 绪论.....	1
1.1 河口生态系统简介.....	1
1.2 河口生态系统中的浮游生物.....	2
1.2.1 浮游植物.....	2
1.2.2 浮游动物.....	3
1.3 九龙江口浮游生物生态研究.....	5
1.3.1 环境与地理概况.....	5
1.3.2 水文特征与生物资源.....	5
1.3.3 浮游植物.....	6
1.3.4 浮游动物.....	7
1.4 水质的生物学评价.....	8
1.5 研究意义及主要内容.....	10
1.5.1 目的及意义.....	10
1.5.2 主要内容.....	10
第二章 材料与方法.....	11
2.1 调查站位及采样时间.....	11
2.2 样品采集、处理与分析.....	11
2.3 数据处理.....	12
第三章 九龙江口的环境参数.....	13
第四章 九龙江口浮游植物.....	19
4.1 种类组成与时空分布.....	19
4.1.1 种类组成.....	19
4.1.2 时空分布.....	22
4.2 优势种与生态学参数.....	24

4.2.1 优势种的季节变化.....	24
4.2.2.优势种的分布.....	29
4.2.3 生态学参数.....	31
4.3 各分区的浮游植物.....	34
4.3.1 I 区.....	34
4.3.2 II 区.....	38
4.3.3 III区.....	42
4.4 讨论.....	47
4.4.1 浮游植物的组成.....	47
4.4.2 影响浮游植物的环境因子.....	49
4.4.3 不同分区浮游植物的特点.....	50
第五章 九龙江口浮游动物.....	54
5.1 种类组成与时空分布.....	54
5.1.1 种类组成.....	54
5.1.2 时空分布.....	57
5.2 优势种与生态学参数.....	60
5.2.1 优势种的季节变化.....	60
5.2.2 优势种的分布.....	64
5.2.3 生态学参数.....	67
5.3 各分区的浮游动物.....	69
5.3.1 I 区.....	69
5.3.2 II 区.....	74
5.3.3 III区.....	79
5.4 讨论.....	84
5.4.1 浮游动物的组成.....	84
5.4.2 影响浮游动物的环境因子.....	86
5.4.3 不同分区浮游动物的特点.....	97
第六章 九龙江口水质的生物学评价.....	91
6.1 水质生物学评价方法.....	91

6.2 九龙江口水质生物学评价.....	91
6.2.1 基于浮游植物的水质评价.....	91
6.2.2 基于浮游动物的水质评价.....	94
6.3 讨论.....	95
第七章 结语.....	97
7.1 主要成果.....	97
7.2 本文创新点.....	98
7.3 不足和展望.....	98
附录 1.....	99
附录 2.....	106
参考文献.....	113
致谢.....	123

Contents

Abstract in Chinese.....	I
Abstract in English.....	III
Chapter 1: Introduction.....	1
1.1 Brief introduction of estuary ecosystem.....	1
1.2 Plankton in estuary systems.....	2
1.2.1 Phytoplankton in estuary systems.....	2
1.2.2 Zooplankton in estuary systems.....	3
1.3 Ecological studies of plankton in the Jiulong River Estuary.....	5
1.3.1 General geographical and environmental characteristic.....	5
1.3.2 Hydrological characteristics and biological resources.....	5
1.3.3 Phytoplankton.....	6
1.3.4 Zooplankton.....	7
1.4 The bioassessment of water quality.....	8
1.5 The significance and content	10
1.5.1 Objective and significance.....	10
1.5.2 Content.....	10
Chapter 2: Materials and methods.....	11
2.1 Sampling station and time.....	11
2.2 Preservation and analyzing of sample.....	11
2.3 Data analysis.....	12
Chapter 3: Environmental parameters of the Jiulong River Estuary.....	13
Chapter 4: Phytoplankton of the Jiulong River Estuary.....	19
4.1 Species composition and distribution.....	19
4.1.1 Species composition.....	19
4.1.2 Temporal-spatial distribution.....	22

4.2 Dominant species and ecological indexes.....	24
4.2.1 The seasonal variation of dominant species.....	24
4.2.2 The distribution of dominant species.....	29
4.2.3 Ecological indexes.....	31
4.3 Phytoplankton in different areas.....	34
4.3.1 Area I	34
4.3.2 Area II	38
4.3.3 Area III.....	42
4.4 Discussion.....	47
4.4.1 Composition of phytoplankton.....	47
4.4.2 Environmental factors.....	49
4.4.3 Characteristics of phytoplankton in different areas.....	50
Chapter 5: Zooplankton of the Jiulong River Estuary.....	54
5.1 Species composition and distribution.....	54
5.1.1 Species composition.....	54
5.1.2 Temporal-spatial distribution.....	57
5.2 Dominant species and ecological indexes.....	60
5.2.1 The seasonal variation of dominant species.....	60
5.2.2 The distribution of dominant species.....	64
5.2.3 Ecological indexes.....	67
5.3 Zooplankton in different areas.....	69
5.3.1 Area I	69
5.3.2 Area II	74
5.3.3 Area III.....	79
5.4 Discussion.....	84
5.4.1 Composition of zooplankton.....	84
5.4.2 Environmental factors.....	86
5.4.3 Characteristics of zooplankton in different areas.....	87

Chapter 6: Bioassessment of water quality in the Jiulong River

Estuary	91
6.1 Methods of water quality bioassessment	91
6.2 Bioassessment of water quality in the Jiulong River Estuary	91
6.2.1 Bioassessment based on phytoplankton.....	91
6.2.2 Bioassessment based on zooplankton.....	94
6.3 Discussion	95
Chapter 7: Summary	97
7.1 Conclusion	97
7.2 Innovation	98
7.3 Insufficiency and prospect	98
Appendix 1	99
Appendix 2	106
References	113
Acknowledgments	123

摘 要

本文以环保公益性行业科研专项“入海河口区水质标准和水环境质量评价方法研究(NO: 201309007)”2013年9月~2014年4月4个季节的调查数据为基础,对九龙江口浮游生物的种类组成、时空分布、优势种、环境影响因素等进行了研究;基于环境因素和地理水文概况进行了区域划分,探讨了不同分区浮游生物的群落结构特点并对其水质进行了生物学评价。

主要的研究成果如下:

1、九龙江口浮游植物的种类组成和数量变化

本次调查共鉴定浮游植物 150 种(含变种和变型),隶属于 5 门 63 属,其中以硅藻占主导地位。浮游植物种类数的季节变化趋势为秋季 > 冬季 > 夏季 > 春季,丰度的变化趋势为春季 > 秋季 > 冬季 > 夏季,夏季表层海水中叶绿素 a 的含量由于受降雨影响而与丰度有较大差异。浮游植物优势种共 18 种,各优势种的季节性变化明显,其中以圆筛藻和角毛藻占多数。盐度和营养盐是影响浮游植物种类组成的主要因素,而浮游植物的丰度主要受温度、盐度和营养盐的调控。九龙江口可划分为淡水区(I区)、半咸水(II区)和咸水区(III区)3个区域:I区受九龙江径流影响大,浮游植物的种类数最少,主要以蓝藻、绿藻和硅藻为主;II区浮游植物的种类数有所增加,由于盐度变化剧烈,在此区域多以适盐范围较广的硅藻为主,其比例较淡水区明显升高;III区受海水影响较大,种类最为丰富,河口广盐种和近岸种占极大比例,淡水藻类只有零星出现。

2、九龙江口浮游动物的种类组成和数量变化

本次调查共计鉴定浮游动物 120 种(隶属于 8 门 81 属)和浮游幼虫 20 类,其中以桡足类和水母类两大类群占优势。浮游动物种类数的季节变化趋势为夏季 > 春季 > 秋季 > 冬季,丰度的变化趋势为春季 > 秋季 > 冬季 > 夏季。其中,浮游动物优势种 16 种,以桡足类占多数,不同季节优势种的差异明显。相对于浮游植物而言,浮游动物的种类数受环境因素的影响较小,而与水深和盐度有较大的正相关关系;而浮游动物的丰度与盐度、水体中的叶绿素 a 浓度有较大的相关性。各分区的结果表明:I区浮游动物种类数较少,主要由枝角类和桡足类组成,多数为淡水种,水母类基本没有出现;II区的种类数较淡水区有明显升高,河口广盐类群占据主导地位,水母类和桡足类所占的比例大幅提高,成为该区的

重要类群，枝角类则明显减少；III区种类丰富，水母类、桡足类、软甲类等近海种和河口广布种成为该区浮游动物的主要组成部分。

3、水质生物学评价

本文从浮游植物和浮游动物两个方面对九龙江口的水质进行了生物学评价，表明浮游植物对环境变化和污染更敏感，评价结果的污染程度略大于浮游动物。综合浮游植物和浮游动物的评价结果，可得出九龙江口的环境污染情况为：受人类活动影响最大的淡水区污染程度最重，半咸水区污染程度较重，而咸水区的污染程度最轻。

关键词：九龙江口；浮游植物；浮游动物；区域划分；水质评价

ABSTRACT

Based on the samples collected from the four-season survey of Jiulong River Estuary during September, 2013 ~ April, 2014, the ecological characters of plankton were investigated. The species composition, temporal-spacial distribution, dominant species, and environmental factors in the Jiulong River Estuary were analyzed. According to environmental factors and geographical characteristics, the Jiulong River Estuary is divided into three areas, they are fresh water area (area I), brackish water area (area II) and seawater area (area III). The community structure of plankton and water quality in each area are discussed.

The results are as follows:

1. The variations in species composition and abundance of phytoplankton

150 phytoplankton species, including variety and form, belonged to 5 phyla, 63 genera were identified, among which diatoms were the dominant. The seasonal changing trend of species is: autumn > winter > summer > spring; that of the abundance is: spring > autumn > winter > summer. Due to the heavy rainfall during the summer survey, there was a disparity between the Chl-a concentration of surface layer and phytoplankton abundance. There were 18 dominant species including *Concinodiscus*, *Chaetoceros* and other genera, most of which changed seasonally. Salinity and nutrient were main influencing factors that affected species composition, while temperature, salinity, and nutrient affected abundance mostly. The differences of phytoplankton in each area are as follows:

Area I is influenced by fresh water mostly, the species number of this area is the lowest. The phytoplankton group is mainly composed of cyanobacteria, green alga and diatom.

Species number of area II is much more than that of area I. The phytoplankton group is mainly composed of euryhaline diatoms and the proportion of diatom in this area is much larger.

Area III is mostly influenced by the seawater, and the species number is the maximum among three areas. Euryhaline species and offshore species are the most

important in the phytoplankton group.

2. The variation in species composition and abundance of zooplankton

140 zooplankton species belonged to 8 phyla, 81 genera were identified (including larvae), among which copepoda and medusa were the dominant. The seasonal changing trend of species is: summer > spring > autumn > winter; that of the abundance is: spring > autumn > winter > summer. There were 16 dominant species, and copepod is the most important. There was also a seasonal supersedure among these dominant species. Compared to phytoplankton, environmental factors showed less influence on zooplankton species numbers except the depth and salinity. Zooplankton abundance is relevant with salinity and Chl-a concentration. The differences of zooplankton in each area are as follows:

Like phytoplankton, zooplankton species number is also the lowest in area I. In zooplankton group, freshwater cladocera and copepoda are the dominate, and medusa is barely found.

Species number of area II is obviously larger than that of area I. The zooplankton group is mainly composed of euryhaline species including copepod and medusa, which are the most important species of this area, while cladocera is much less than area I.

Area III has a big number of species, including euryhaline species and offshore species of copepod, medusa, malacostraca and other kinds.

3. The bioassessment of water quality

The assessment of water quality was carried out in two parts: phytoplankton assessment and zooplankton assessment, and phytoplankton were found to be more sensitive to environmental changes and water pollution than zooplankton. The results showed that the pollution degree of area I is the highest where human activities affects water quality seriously; the water quality of area II is better than area I, but is also polluted; the water quality of Area III is the best among three areas.

Key Words: Jiulong River Estuary; Phytoplankton; Zooplankton; Area partition; Water quality assessment

第一章 绪 论

1.1 河口生态系统简介

河口是一种半封闭的、径流和海洋相互作用的复杂水域，代表着陆地与海洋之间的密切相互作用(Castro and Huber(茅云翔等译), 2011)。到目前为止，不同资料及不同专业领域对河口有着不同的解释，但难免都有缺陷存在(戴志军等, 2000)。上世纪 60 年代，Dionne(1963)认为河口是河流与海洋之间的通道，是向陆延伸到潮水的上限。Pritchard(1967)对河口的定义为：一个与开阔海洋自由连通的半封闭式海岸水体，河口中的海水在一定程度上会被陆地径流淡水冲淡。以上两位学者的观点被众多专家接受。Kjerfve 和 Magill(1989)在对河口的定义中，第一次表明了河口是全新世海平面上升时海水入侵所形成的溺谷，并首次引入了时间的概念，认为并非所有的河口都是 6000 ~ 7000 年前形成的。80 年代后期，综合以往学者们对河口的定义，Perillo(1989)认为“河口是半封闭的向陆延伸至潮流影响的上界，有不只一种方式与开阔的海洋或含盐的海岸水体自由连通，并能有效地被陆地上的淡水冲淡的海岸水体”。这一定义明确清晰地提出了影响河口的两大主要动力：潮汐和河流(余兴光等, 2012)。

总而言之，河口是部分封闭的区域，大型河流在这里汇入了海洋(Lalli and Parsons, 1997)。它受潮汐作用的强烈影响，如潮间带是陆地和海洋环境的交替区一样，河口是地球上两类水生生态系统之间的过渡区(沈国英等, 2002)。河口是陆海相互作用的集中地带，径流、潮流、风浪共存，水流、泥沙具有很强的非恒定性，物理、化学、生物和地质过程耦合多变，演变机制复杂，生态环境敏感脆弱，形成了有别于淡水和海洋的独特环境(杨宇峰等, 2006)。

河口区的营养物质通过陆源的排水系统和河口的滞留能力得到极大的丰富，从而有很高的生物量，包括底栖硅藻、海洋藻类以及浮游植物等，使极大数量的鱼类和鸟类得以生存，而河口也成为海洋中最具生产力的生态系统之一(Lalli and Parsons, 1997)。因此河口既是重要的渔业捕捞场所，也是重要的水产养殖区，此外河口区能截留陆源输入的污染和营养物质，使其不致进一步流向海洋，有助于改善水质(沈国英等, 2002)。

河口为人类提供土地资源、食物原料资源、淡水资源以及港口航道资源等，具有重要的服务价值和经济价值，因此河口地区通常有频繁的人类活动，经济富

裕, 社会发达; 但另一方面, 随着人类活动的日益频繁和流域及河口地区本身系统的自然演变, 河口生态系统的生态服务功能正逐步减退, 河口的生态安全与健康正遭受严峻考验(余兴光等, 2012)。由于河口水域是陆海相互作用的剧烈区域, 受到人为因素的影响也相对较大; 同时, 为合理利用河口的生物及环境资源, 人们也需要对其进行深入的了解和研究(宋星宇等, 2004)。

1.2 河口生态系统中的浮游生物

1.2.1 浮游植物

浮游植物是一类具有色素或色素体, 能进行光合作用并制造有机物的自养型浮游生物, 与底栖藻类一起构成海洋中有机物的初级产量。浮游植物的初级生产是世界大多数河口生态系统食物能量的重要组成部分, 浮游植物是海洋动物, 尤其是幼虫的直接或间接的饵料, 是海洋生物生产力的基础, 在海洋渔业上具有重要意义。通过进行河口浮游植物的种类组成、时空分布、生物量等生态学分析, 并结合有关化学指标, 可以客观反映河口水环境状况(郑重等, 1984; 郭沛涌和沈焕庭, 2003)。不同地区河口浮游植物的种类组成也不尽相同, 德国、比利时、以及荷兰的部分河口浮游植物的组成都以硅藻为主(Muylaert and Sabbe, 1999), 而美国阿拉斯加沿岸水域由于纬度较高, 硅藻只占浮游植物总丰度的 34%(Bursa, 1963)。因此, 河口浮游植物的生态学研究具有十分重要的理论和实践意义, 更能为海洋各类生态系统的结构和功能及全球碳循环的进一步了解奠定坚实的基础(Bates *et al.*, 1998; Arrigo *et al.*, 2000)。

(1)环境要素对浮游植物的影响: 光是河口浮游植物光合作用的必要条件, 光照时间及强度均会影响浮游植物的生长繁殖(郭沛涌和沈焕庭, 2003)。自然界里, 在光学性质均一的水体中, 光强随着深度加大呈指数下降, 浮游植物在清澈海水中光合作用的补偿点可能在 100m 处, 而在十分浑浊的水中可能只在几厘米处(Mann(蔡福龙等译), 1989)。Goosen *et al.*(1999)比较了欧洲几个河口的浮游植物生产力, 发现悬浮物浓度最高的河口浮游植物的初级生产力最低且与光亮层的深度呈正相关。初级生产力明显的季节变化显示温度影响着浮游植物的繁殖生长, 这在水温季节变化较大的温带海最为显著: 一般在春、秋两季较高(浮游植物高峰期), 夏季次之, 冬季最低, 这与营养盐含量的季节变化相一致(郑重, 1986)。当温度超过河口浮游植物光合作用的最适温度时, 浮游植物的初级生产力迅速下

降, 不同种类的最适生理温度一般在 $10 \sim 40^{\circ}\text{C}$, 但就单个种类而言, 适温的范围一般更加狭小(Eppley, 1972)。氮磷营养盐是浮游植物生长不可缺少的营养要素, 大约以 $16:1$ 的原子数比例被浮游植物吸收(Redfield, 1958)。除此之外, 硅藻的繁殖有时候也被可利用的硅酸盐限制, 例如美国的切萨皮克湾春季硅藻的水华就受到硅酸盐的控制(Malone *et al.*, 1996)有些研究显示, 水体中营养盐结构的改变会导致浮游植物群落结构发生变化, 并可能影响将其作为饵料的浮游动物的食物结构, 进而影响到海洋生态系统的多样性和稳定性(黄伟等, 2012)。

(2)浮游植物对环境变化的响应: 河口浮游植物种类的组成与盐度变化密切相关, 种类组成、初级生产力时空变化明显, 而河口浮游植物的初级生产又受到光、温度、营养盐、径流以及动物摄食等因素的控制(郭沛涌和沈焕庭, 2003)。当河口的营养条件允许时, 浮游植物会大量繁殖形成水华, 致使种内竞争加强, 个体通过对资源的竞争最终明显地改变了其生存环境(Odum, 1959), 部分浮游植物暴发式繁殖形成的有害赤潮往往发生在富营养化严重的海区(周名江等, 2001)。大气二氧化碳浓度升高是驱动全球变化(全球变暖、海洋酸化、水循环异常、海平面升高、上部混合层浅化等)的元凶, 海洋作为碳汇正不断从大气中吸收二氧化碳, 工业革命以来, 海洋吸收了人类排放的二氧化碳量的 $1/3$ 以上, 因此作为海洋主要的初级生产者, 浮游植物光合固碳作用的变化关系到生态系统的初级生产力及未来海洋对二氧化碳的吸收能力(高坤山, 2011)。由于缺乏运动器官, 浮游植物的分布直接受海水运动的影响, 有些种类的分布可作为海流、水团的指示生物; 有些浮游植物具有富集污染物的能力, 可作为污染的指示生物(郑重等, 1984)。

1.2.2 浮游动物

浮游动物是一类自己不能制造有机物的异养性浮游生物, 自主游动能力较弱, 主要靠随波漂流运动, 一般构成海洋中的次级产量, 种类组成比浮游植物复杂得多, 其中以种类繁多、数量很大、分布又广的桡足类最为突出(郑重等, 1984)。浮游动物在海洋生态系统中承前启后, 是对能流、物流可以起到调控作用的关键生物类群, 具有重要的地位(徐兆礼, 2006)。在河口和近岸水域, 环境变化和人类活动因素直接或间接地影响浮游动物群落的分布和时空变化。生物群落结构和多样性的变化能够反映自然界生态系统的变化(Gaston, 2000), 在河口和近岸水

Degree papers are in the “[Xiamen University Electronic Theses and Dissertations Database](#)”.

Fulltexts are available in the following ways:

1. If your library is a CALIS member libraries, please log on <http://etd.calis.edu.cn/> and submit requests online, or consult the interlibrary loan department in your library.
2. For users of non-CALIS member libraries, please mail to etd@xmu.edu.cn for delivery details.